

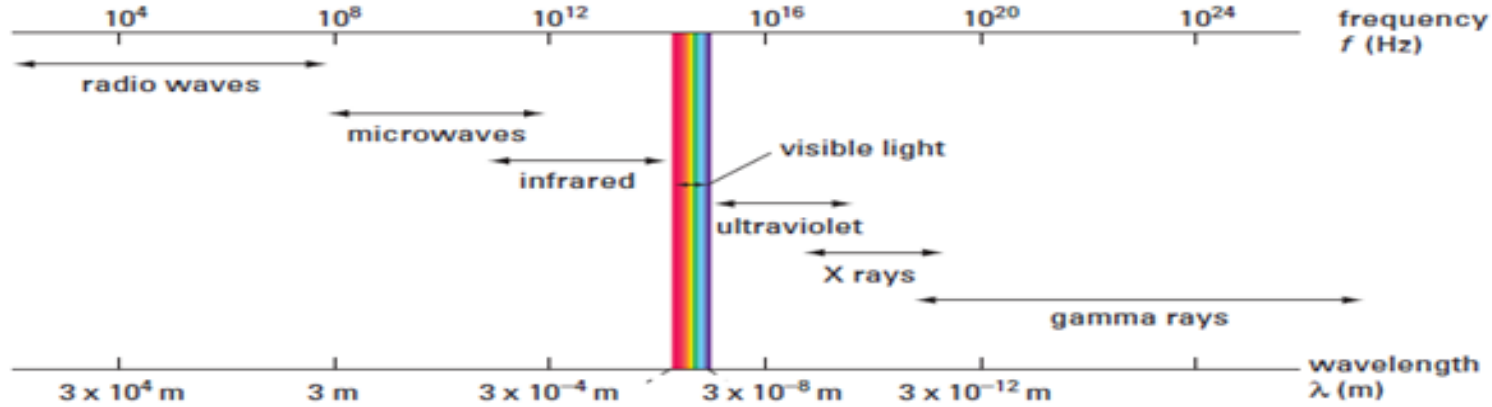
Microwave Circuits and Antenna Design

Microwave Circuits

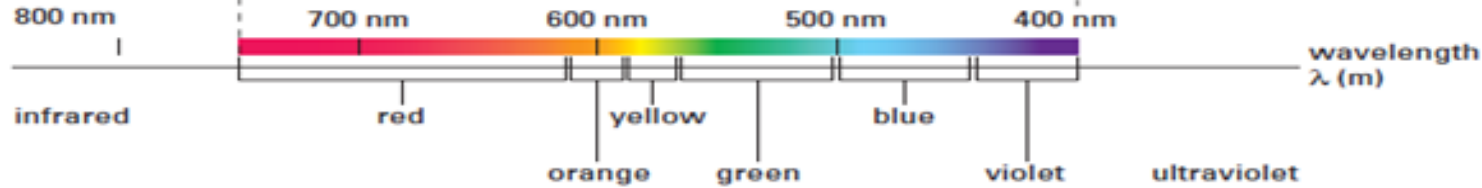
Dr. Cahit Karakuş

2019

EM Spectrum



a) Electromagnetic spectrum



b) Visible spectrum

- İyonize radyasyon, Gamma ve X ışınları olarak sıralanır. İyonize radyasyon insan hücrelerinin değişimine neden oldukları, kanser oluşturdukları ve kromozomları değiştirdikleri için tehlikelidir.
- İyonize olmayan dalgalar ise Ses dalgaları, Radyo dalgaları, Mikrodalga, Kızıl ötesi ışık, Görünen ışık, ve Morötesi ışık olarak sıralanır. İyonize olmayan dalgalar girdikleri dokulara enerjilerini aktararak ısını artırır ya da hücre zarlarının çalışma biçimini değiştirir.

Mikrodalga

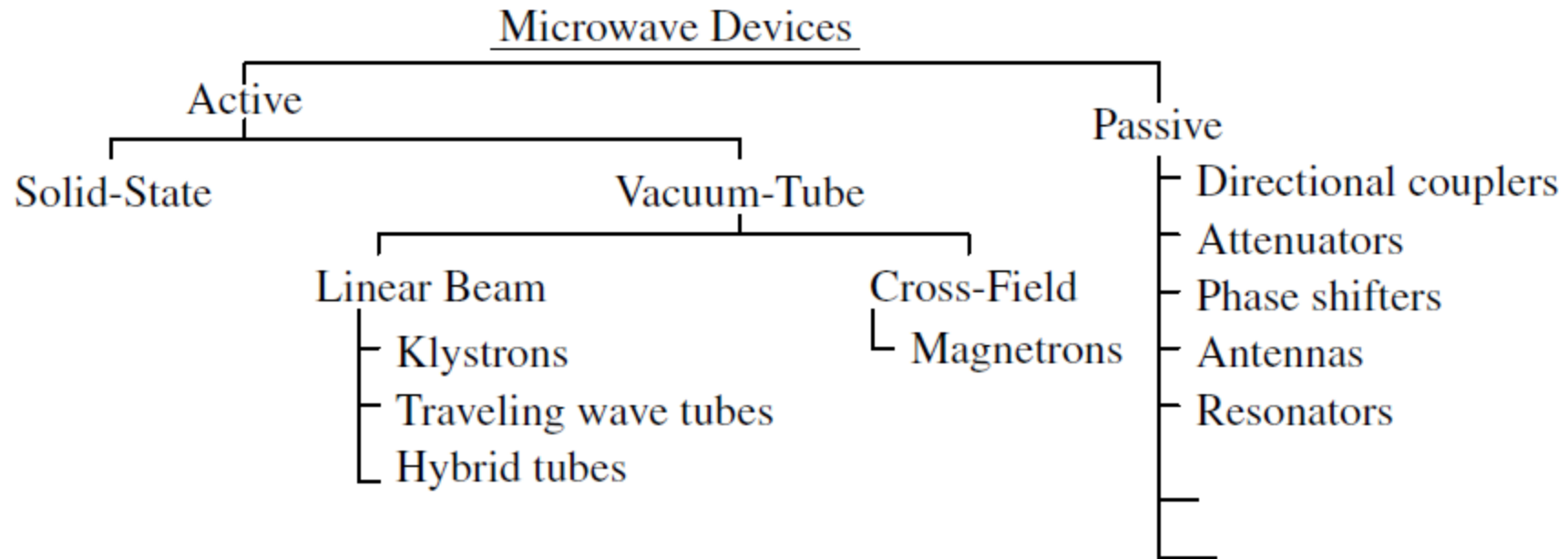
- Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun radyo dalgaları ile kızıl ötesi ışınlar arasındaki bölümde kalırlar. Frekansları 1 GHz ila 1000 GHz arasında, dalga boyları 0,1–100 cm olan elektromanyetik dalgalardır.
- Mikrodalgalar, elektrik ve manyetik alandan oluşan, yüksek frekanslı ve kısa dalga boylu elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalga bölgesine ait frekans aralığı 300 MHz -300 GHz arasına, karşılık gelen dalga boyu aralığı ise 1 mm – 1 μ m arasında değişmektedir. Mikrodalga sinyalleri düz çizgiler halinde yayılır ve troposferden çok az etkilenir. İyonosferden kırılmaz. Çünkü 2 MHz ile 32MHz arasındaki sinyaller iyonosferden geri yansır.

The microwave frequency band

- L-band 1-2GHz
- S-band 2-4GHz
- C-band 4-8GHz
- X-band 8-12GHz
- Ku-band 12-18GHz
- K-band 18-26GHz
- Ka-band 26-40GHz
- U-band 40-60GHz

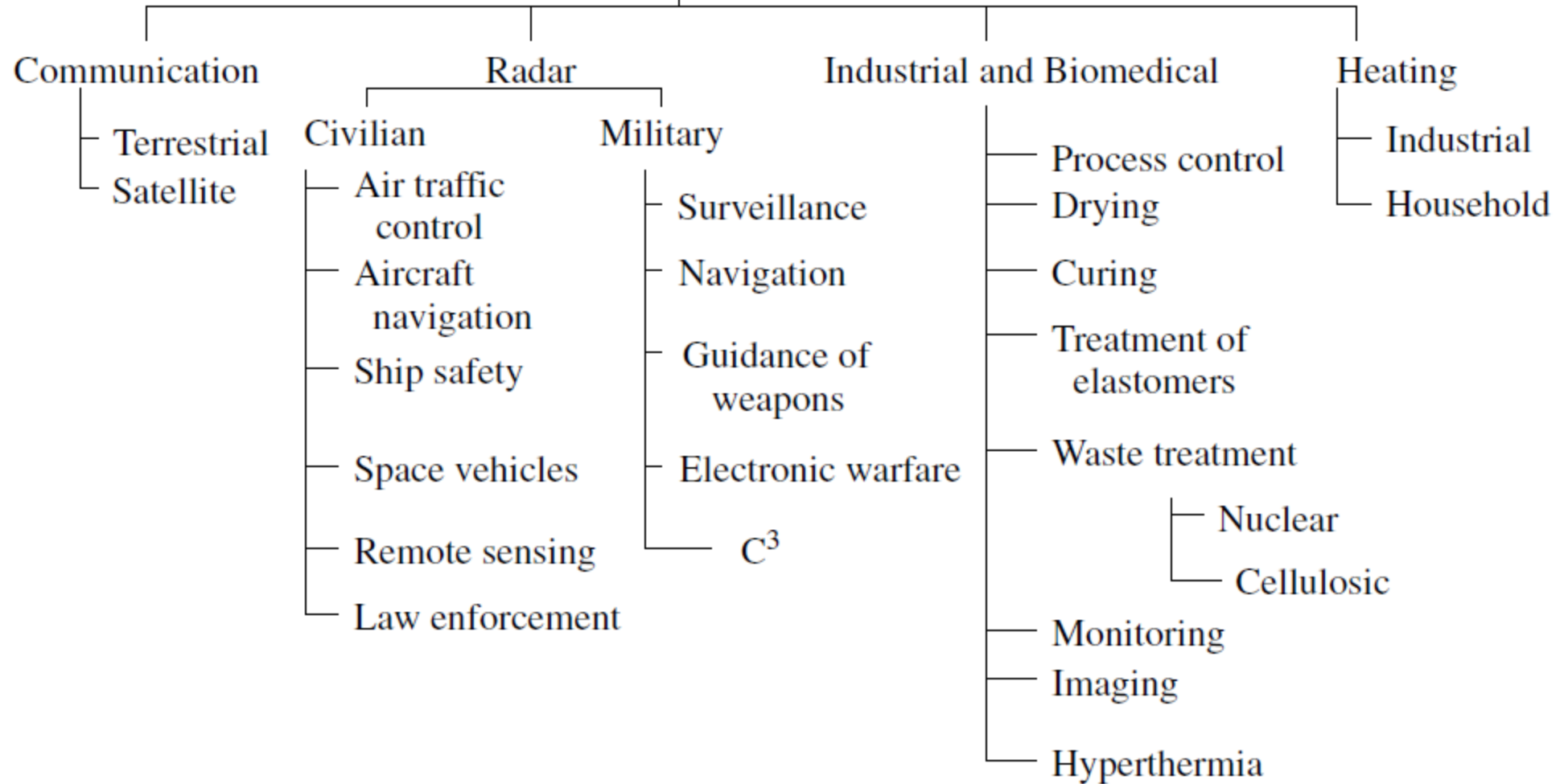
COMMON FREQUENCY RANGES AND USES

Name	Frequency range	Name Origin	Common uses
VHF	30 to 300 MHz	Very High Frequency	FM radio, television broadcasts
UHF	300 to 3000 MHz	Ultra High Frequency	Television broadcasts, Microwave oven, Microwave devices and communications, radio astronomy, mobile phones, wireless LAN, Bluetooth.
L Band	1 to 2 GHz	Long	Military telemetry, GPS, ATC radar
S Band	2 to 4 GHz	Short	Weather radar, surface ship radar, microwave ovens, microwave devices/communications.
C Band	4 to 8 GHz	Compromise (between S and X)	Long-distance radio telecommunications
X Band	8 to 12 GHz	X for crosshair (used in WW2 for fire control radar)	Satellite communications, radar, terrestrial broadband, space communications,
Ku Band	12 to 18 GHz	Kurtz Under	Satellite communications
K Band	18 to 26.5 GHz	Kurtz (German for short)	Radar, satellite communications, astronomical observations, automotive radar
Ka Band	26.5 to 40 GHz	Kurtz Above	Satellite communications



Solid-state electronics means semiconductor electronics; electronic equipment using semiconductor devices such as transistors, diodes and integrated circuits

Microwave Applications



Terrestrial microwave communication

- Microwave links: link analysis, microwave relay systems,
- choice of frequency ,
- line of sight and over the horizon systems
- modulation methods
- block schematic of terminal transmitters and receivers
- effect of polarization
- diversity receivers
- digital microwave links
- digital modulation schemes
- fading
- digital link design
- satellite communication, orbit of communication satellites , angle of elevation, propagation delay ,
- orbital spacing , satellite construction , transponders ,
- antennas , multiple spot beams
- earth station – link analysis
- multiple access schemes
- digital satellite links

Disadvantages of Microwave

- More expensive component
- Higher atmospheric loss
- Reliance in GaAs technology rather than Si technology
- Higher component losses, lower output power from active devices

Types of communication transmission lines

- Two-wire parallel transmission lines, twisted pair
- Fiber Optic kable
- Microstrip/Stripline: Strips of copper between dielectric materials
- Coaxial Cable: Television, Internet, Audio/Visual (Center conductor surrounded by an insulator)
- and another conductor.
- Waveguide: Radar (commercial and military), Satellite communication (base station)

Microwave Junction

MICROWAVE JUNCTION

Interconnection of two or more devices

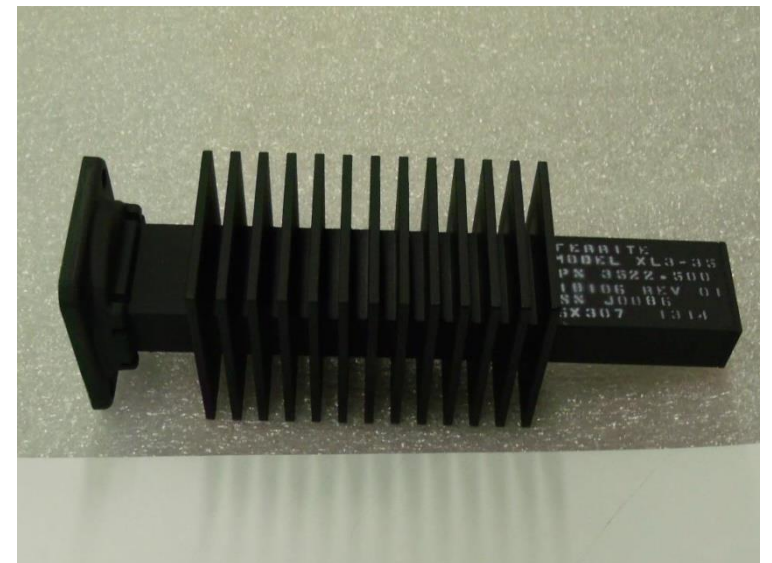
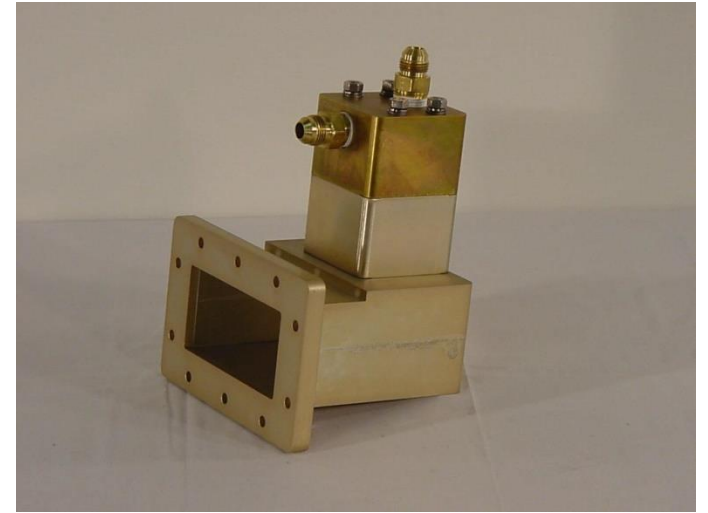
- Circulators
- Directional Coupler
- Wave Guide Tees

LOADS

- Absorb power and convert it to heat
- Also called “dummy loads”
- Can be air cooled or water cooled

Use different materials to absorb the power, such as:

- Water
- Ethylene or Propylene Glycol mixture
- Silicon Carbide
- Lossy ferrite material

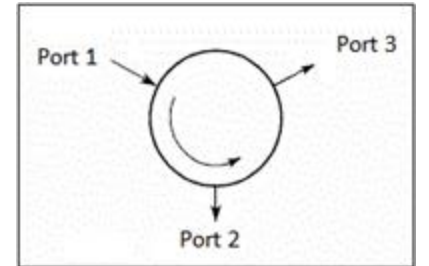


CIRCULATORS

- Üç portlu bir sirkülatörün bir portu eşleşen bir yükte sonlandırıldığında, bir izolatör olarak kullanılabilir, çünkü bir sinyal kalan portlar arasında sadece bir yönde hareket edebilir. [13] İzolatör, giriş tarafındaki ekipmanı, çıkış tarafındaki koşulların etkilerinden korumak için kullanılır; örneğin, bir mikrodalga kaynağının eşleşmeyen bir yük tarafından algılanmasını önlemek için.

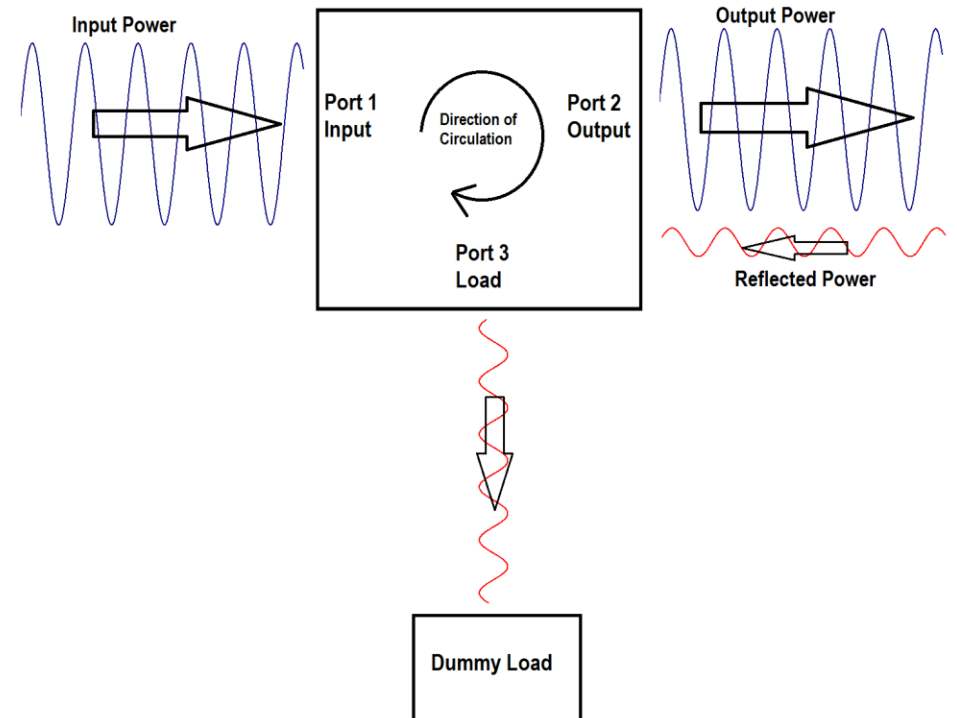
Bir sirkülatör seçerken:

- Frekans (MHz): Bu, sabit bir izolasyon seviyesi ve minimum ekleme kaybı sağlarken cihazın üzerinde çalışabileceği frekans aralığıdır.
- Ekleme Kaybı (Insertion Loss , dB): Bir porttan diğerine giren sinyalinin sinyal kaybıdır. Bir porttaki giriş gücü ile bir sonraki portta alınan güç arasındaki farktır.
- İzolasyon (dB): Bu, sirkülatörün bitişik portlarındaki sinyal seviyelerinin bir ölçüsüdür, yani bir portta bir sinyal olduğunda ve port 2'ye iletildiğinde, izolasyon port 1 ve port 3 arasında ölçülür. Daha iyi sirkülatör performansını veren değerdir. Desibel (dB) cinsinden ölçülür.
- Güç (W): Bu, cihazın elektriksel özelliklerini yönetirken işleyebileceği güç düzeyidir.



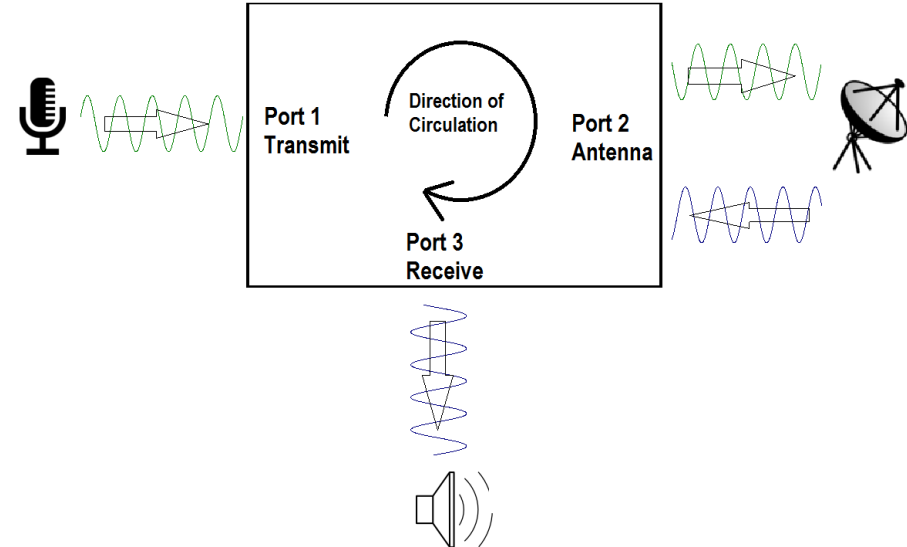
ISOLATORS

- Act as one way valves for energy
- Protect Microwave power sources from reflected power.
- Direct reflections away from the power source, usually into a dummy load.



DUPLEXERS

- Radarda, sirkülatörler, sinyallerin doğrudan vericiden alıcıya geçmesine izin vermeden, vericiden antene ve antenden alıcıya sinyalleri yönlendirmek için bir dupleksleyici türü olarak kullanılır. Alternatif dupleksleyici, anteni vericiye ve alıcıya bağlamak arasında değişen bir gönderme-alma anahtarıdır (TR anahtarı).
- Gelecek nesil hücresel iletişimde, insanlar sinyallerin aynı anda iletilebildiği ve aynı frekansta alınabildiği tam çift yönlü radyolar hakkında konuşurlar. Şu anda sınırlı, yoğun spektrum kaynağı göz önüne alındığında, tam dupleksleme veri aktarım hızının iki katıyla kablosuz iletişime doğrudan yararlanabilir. Halihazırda, kablosuz iletişim, aynı frekansta (tipik olarak radarda) sinyallerin farklı zaman aralıklarında iletildiği veya alındığı veya sinyallerin aynı anda farklı frekanslarda iletildiği ve alındığı "yarı çift yönlü" ile gerçekleştirilmektedir. (duplexer adı verilen bir filtre seti ile gerçekleştirilir).



Yansıma amplifikatörü

- Bir yansıma amplifikatörü, tünel diyotları ve Gunn diyotları gibi negatif diferansiyel direnç diyotları kullanan bir tür mikrodalga amplifikatör devresidir. Negatif diferansiyel direnç diyotları sinyalleri yükseltebilir ve mikrodalga frekanslarında iki portlu cihazlardan daha iyi performans gösterir. Bununla birlikte, diyot tek portlu (iki terminal) bir cihaz olduğundan, giden amplifiye sinyali gelen giriş sinyalinden ayırmak için karşılıksız bir bileşen gereklidir. Sinyal girişi bir porta bağlı 3-uçlu bir sirkülatör kullanılarak, bir saniyeye bağlı eğimli diyot ve üçüncüye bağlı çıkış yükü ile çıkış ve giriş birbirinden ayrılabilir.

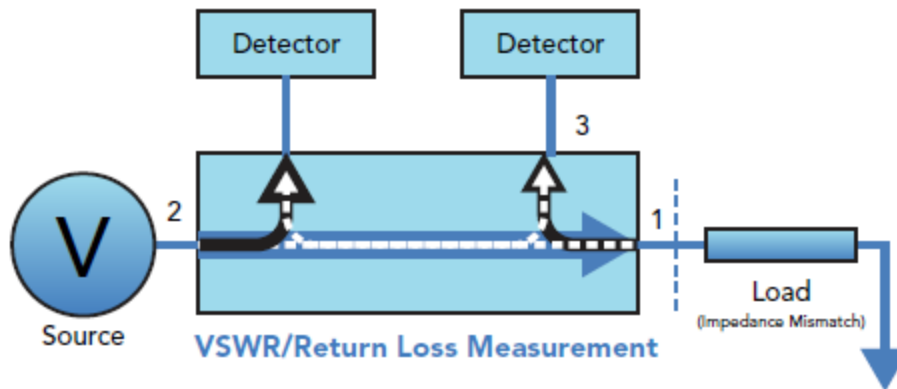
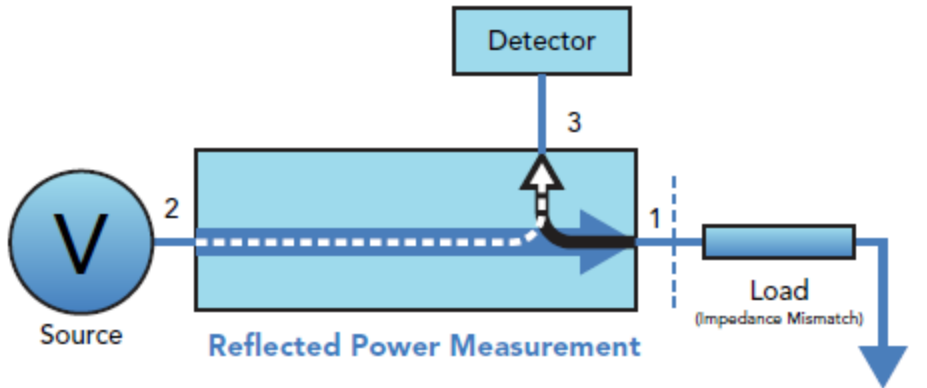
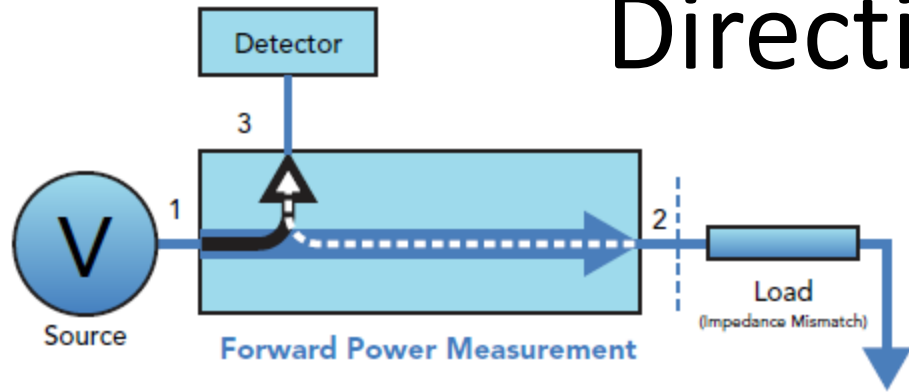
Directional couplers

- Herhangi bir mikrodalga devresi için önemli bir performans ölçütü, yük empedansının kaynağın empedansı ile ne kadar iyi eşleştiğidir. Bu eşleşme, ne kadar gücün verilebileceğini ve ne kadarının geri dönüş kaybı ile ölçülen vericiye geri yansıtılacağını veya yansıtılan gücün iletilen güce oranını belirler. Geleneksel olarak, bir bileşenin bu kalitesi, gerilim analiz dalga oranı (VSWR) veya bileşenden önceki hattaki duran dalganın maksimum / minimum gerilim oranı ile tanımlanır. Ne kadar güç verilir ve test edilen bir cihazdan ne kadar yansıtılır (DUT)?
- Geri dönüş kaybı ve VSWR ölçümleri, yansıtılan gücü ölçmek için kullanılır.
- İleri ve geri hareket eden dalgalar arasında ayırım yapılmasında ne yazık ki hiçbir yönlü cihaz mükemmel değildir ve potansiyel olarak dramatik ölçüm hatalarına yol açar.
- Connectors: SMA, BNC, Type N, TNC (option)
- Ekleme (insertion) kaybı ve giriş / çıkış geri dönüş kaybı gibi önemli parametrelerin istatistiksel kontrolünü sağlamak için üretilirler.
- Yönlü kuplajlar çok düşük ekleme kaybına sahip reaktif cihazlardır.

Directional couplers

- Herhangi bir mikrodalga devresi için önemli bir performans ölçütü, yük empedansının kaynağın empedansı ile ne kadar iyi eşleştiğidir. Bu eşleşme, ne kadar gücün verilebileceğini ve ne kadarının geri dönüş kaybı ile ölçülen vericiye geri yansıtılacağını veya yansıtılan gücün iletilen güce oranını belirler. Geleneksel olarak, bir bileşenin bu kalitesi, gerilim analiz dalga oranı (VSWR) veya bileşenden önceki hattaki duran dalganın maksimum / minimum gerilim oranı ile tanımlanır. Ne kadar güç verilir ve test edilen bir cihazdan ne kadar yansıtılır (DUT)?
- Yönlü kuplör, sinyali bir geçiş hattında, ancak ileri ve geri hareket dalgaları arasında ayırım yapacak şekilde örnekleyen dört portlu bir cihazdır.

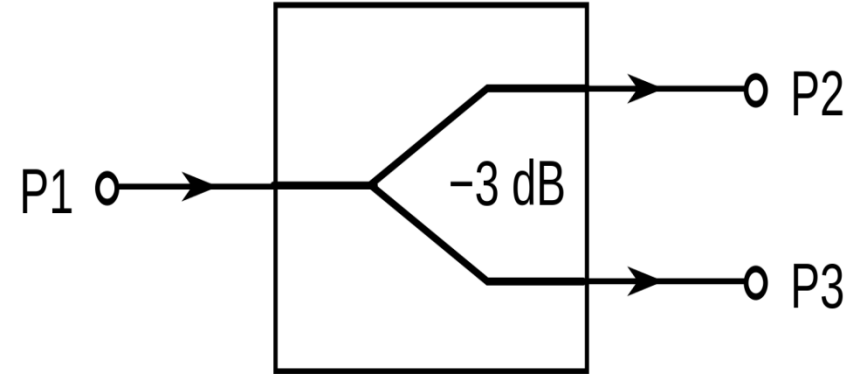
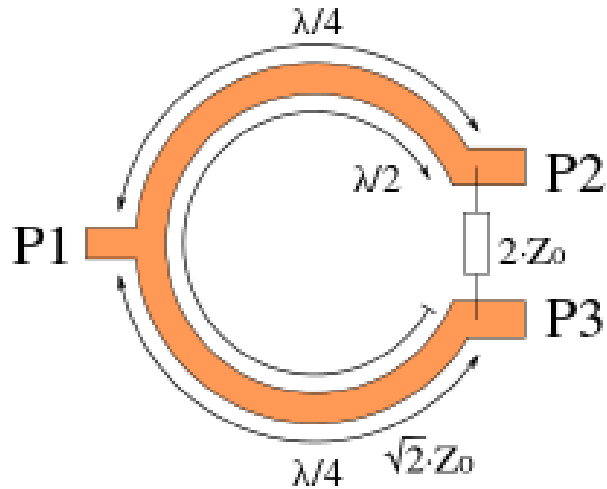
Directional couplers



- Connectors: SMA, BNC, Type N, TNC (option)
- Yerleştirme kaybı ve giriş / çıkış geri dönüş kaybı gibi önemli parametrelerin istatistiksel kontrolünü sağlamak için üretilirler.

Power dividers

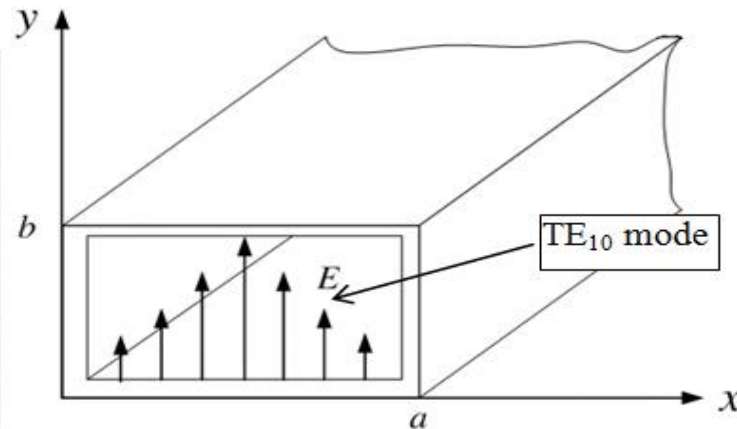
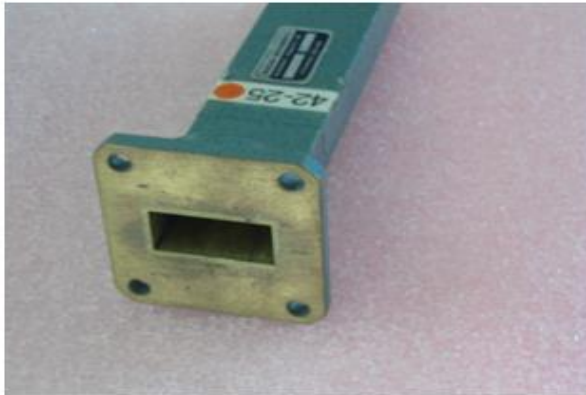
- Mikrodalga mühendisliği ve devre tasarımı alanında, Güç Bölücü, tüm bağlantı noktalarında eşleşen bir durumu korurken çıkış bağlantı noktaları arasında yalıtım sağlayabilen özel bir güç bölücü devresi sınıfıdır. Pasif bileşenlerden oluştuğu ve dolayısıyla karşılıklı olduğundan bir güç birleştirici (combiner) olarak da kullanılabilir.



Waveguides

Waveguides

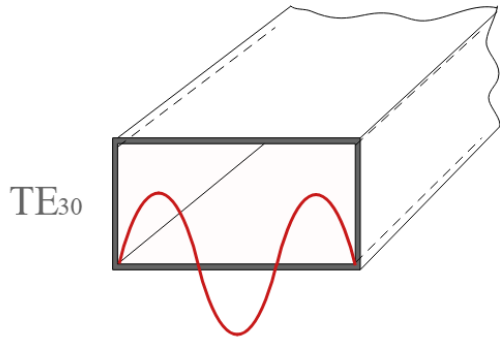
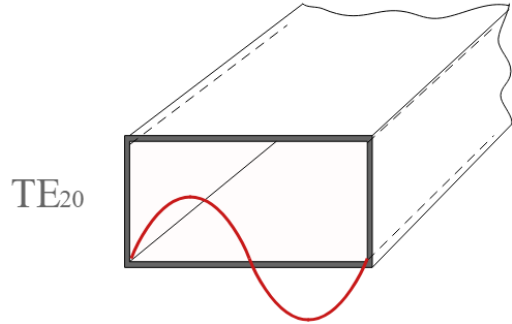
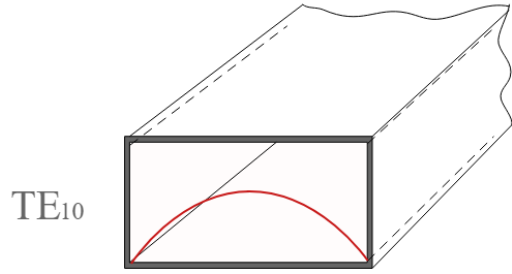
- There are circular and rectangular waveguides which have just one piece of conductor, and good for high frequencies (high pass, and low stop).



Dalga Kılavuzları

- Dalga kılavuzları yalnızca kesme frekansı olarak bilinen belirli bir frekansın üzerindeki sinyalleri taşır veya yayar. Dalga kılavuzu kesme frekansının altında, sinyalleri taşıyamaz.
- Sinyalleri taşımak için bir dalga kılavuzunun sinyalleri yayması gerekir ve bu sinyalin dalga boyuna bağlıdır. Dalga boyu çok uzunsa, dalga kılavuzu sinyali taşıyabileceği bir modda çalışmaz.
- Kesme frekansı boyutlarına bağlıdır. Mekanik kısıtlamalar göz önüne alındığında bu, dalga kılavuzlarının sadece mikrodalga frekansları için kullanıldığı anlamına gelir. Teorik olarak daha düşük frekanslar için dalga kılavuzları oluşturmak mümkün olsa da, boyut onları normal boyutlarda içermeye uygun hale getirmeyecek ve maliyetleri engelleyici olacaktır.
- Bir dalga kılavuzu için gereken boyutlara çok kaba bir kılavuz olarak, bir dalga kılavuzunun genişliğinin, taşınan sinyalin dalga boyu ile aynı büyüklükte olması gerekir.

Rectangular waveguide TEMn modes



Bir dalga kılavuzunun kesme frekansının kesin mekaniği, dikdörtgen, dairesel vb. Olup olmamasına göre değişse de, dikdörtgen dalga kılavuzu örneğinden iyi bir görselleştirme elde edilebilir. Bu aynı zamanda en yaygın kullanılan formdur.

Sinyaller, bir dizi mod kullanarak bir dalga kılavuzu boyunca ilerleyebilir. Ancak baskın mod, en düşük kesme frekansına sahip moddur. Dikdörtgen bir dalga kılavuzu için bu TE₁₀ modudur.

TE, enine elektrik anlamına gelir ve elektrik alanının yayılma yönüne enine olduğunu belirtir.

Cut-off frequency formula

- Rectangular waveguide cut-off frequency formula

$$f_c = \frac{c}{2a}$$

Where:

f_c = rectangular waveguide cut-off frequency in Hz

c = speed of light within the waveguide in metres per second

a = the large internal dimension of the waveguide in metres

Cut-off frequency formula

- Circular waveguide cut-off frequency formula

$$f_c = \frac{1.8412c}{2\pi a}$$

Where:

f_c = circular waveguide cut-off frequency in Hz

c = speed of light within the waveguide in metres per second

a = the internal radius for the circular waveguide in metres

- Fundamental mode: TE₁₀ mode

$$E_y = E_0 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$E_x = E_z = 0$$

$$H_x = H_1 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$H_y = 0$$

$$H_z = H_2 \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}$$

Thus its cut-off wavelength is $2a$, and the operational wavelength should be shorter than $2a$.

Standard waveguides

Waveguide	Freq. (GHz)	ID of a (mm)	ID of b (mm)	Freq. band
WR-137	5.85 – 8.2	34.85	15.80	C band
WR-112	7.05 – 10.00	28.50	12.60	H band
WR-90	8.2 – 12.4	22.86	10.16	X band
WR-62	12.4 – 18.0	15.80	7.90	Ku band
WR-51	15.0 – 22.0	12.96	6.48	K band
WR-42	18.0 – 26.5	10.67	4.32	K band

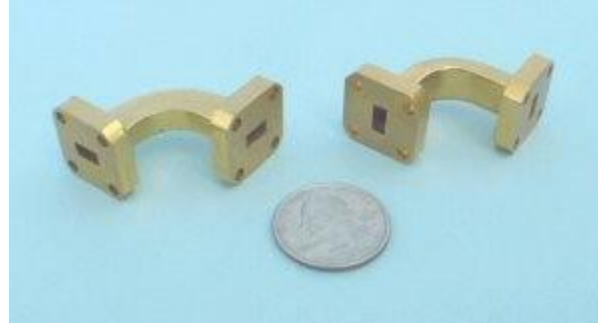
The frequency range is determined by the cut-off frequencies of the fundamental mode and the 1st higher mode. The cut-off wavelength for TEM_{mn} and TM_{mn} modes is given by

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

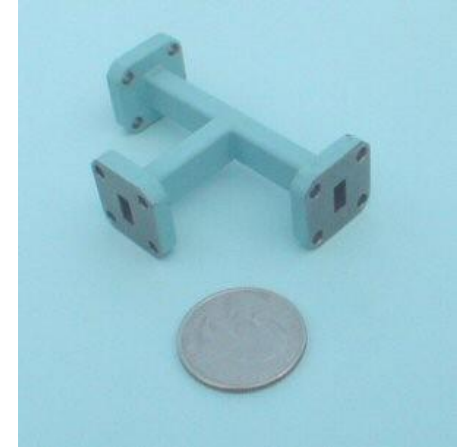
Waveguide



Waveguide to coax adapter



Waveguide bends



E-tee

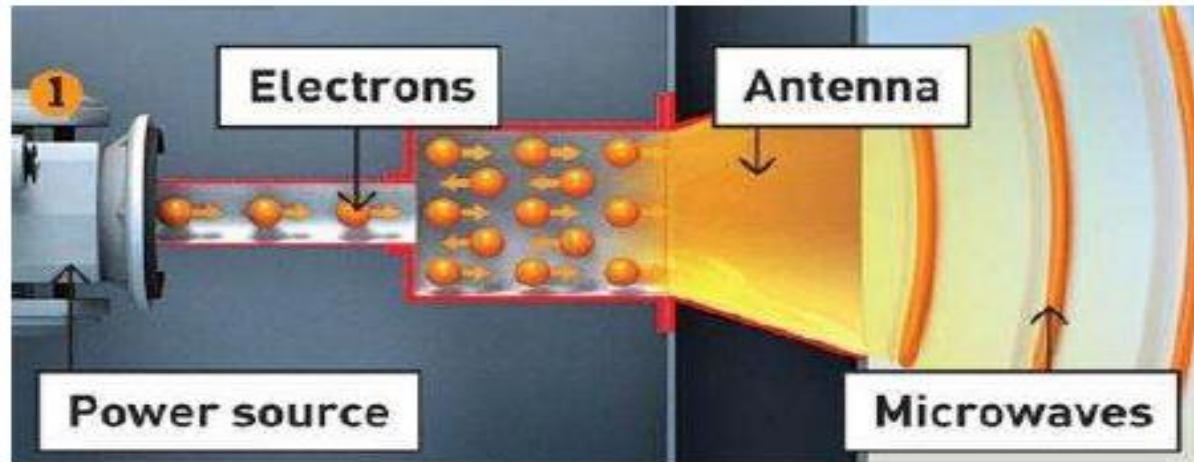


Rectangular waveguide

Esnek Dalga Kılavuzu

- Esnek dalga kılavuzu genellikle sert dalga kılavuzu sistemlerini kullanarak, özellikle doğru bir şekilde konumlandırılmadığında veya konumlandırılmadığında, iki unsuru birbirine bağlamak için kullanılır. Örneğin, esnek dalga kılavuzu genellikle özellikle sabitlenmemiş olmaları durumunda, anten sistemlerini sabitlenmiş verici alıcı sistemine bağlamak için kullanılır.
- Esnek dalga kılavuzu, sert dalga kılavuzu tarafından sağlanan aynı performans seviyesine sahip olmayabilir, ancak sunulan mekanik avantajlar normalde elektrik performans sınırlamalarından çok daha ağır basar.
- Esnek dalga kılavuzu da mekanik harekete izin vermek için kullanılır. Genellikle esnek dalga kılavuzu termal genişlemeye ve büzölmeye izin vermek için kullanılabilir ya da mekanik titreşime izin vermek için kullanılabilir.

Mikrodalga Tüpleri



Microwave Weapon (MW)

- In a Microwave Weapon (MW), the components can be as simple as a magnetron, a transformer, a diode, and a capacitor. Of course, the magnetron is certainly not that simple, consisting of several finely tuned "antennas" and other components.

Mikrodalga Tüpleri

- Mikrodalga tüpleri, mikrodalga frekans aralığındaki frekanslarının üretimi ve amplifikasyonu için kullanılan vakum elektron cihazlarıdır.
- Mikrodalga frekansların genellikle 1 GHz'den küçük ve 100 GHz'den biraz daha büyük olduğu kabul edilir.
- Milimetre dalga frekans bölgesi mikrodalga aralığının bir parçasıdır ve genellikle yaklaşık 300 MHz ila 300 GHz arasında uzandığı düşünülür.
- Mikrodalga tüplerinin çoğu II. Dünya Savaşı'ndan önce icat edildi.
- İki tür, magnetron ve refleks klystron, savaş sırasında radarlarda kullanılmak üzere geliştirilmişlerdi.
- Savaş sırasında ve sonrasında çok sayıda başka mikrodalga tüpü tipi ve konfigürasyonu icat edildi. Bugün, beş tip mikrodalga tüpü kullanılmaktadır.

Mikrodalga Tüpleri

1. Klystrons;
2. Traveling wave tubes;
3. Magnetrons;
4. Crossed-field amplifiers;
5. Gyrotrons (gyro-monotrons and gyro-amplifiers).

Microwave Tubes

- Conventional tubes can be modified for low capacitance but specialized microwave tubes are also used
- Yüksek güç / yüksek frekans kombinasyonu için kullanılır
- Tüpler katı hal cihazları olarak bilinen yarıiletken elektroniklerden daha ucuza üretir ve yüksek seviyeli mikrodalga gücü yükseltir
- Geleneksel tüpler düşük kapasitans için değiştirilebilir, ancak özel mikrodalga tüpler de kullanılır

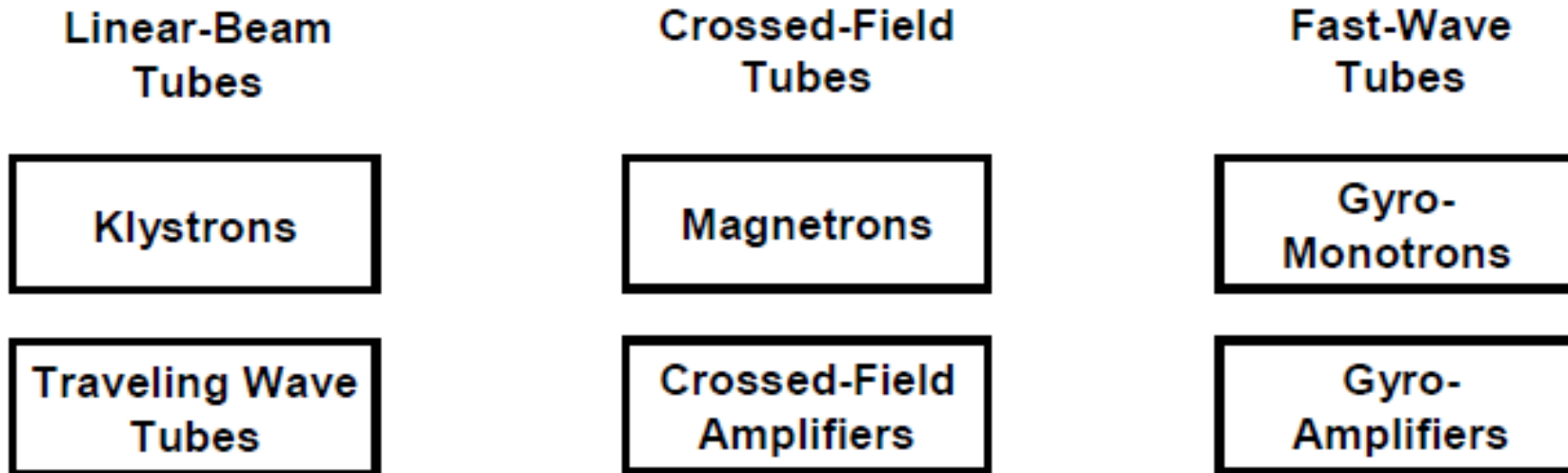
Evolution of microwave tubes

- 1935 – Heil oscillator
- 1939 – klystron amplifier
- 1944 – Helix type TWT
- In the early 1950s – low power output of linear beam tubes to high power levels
- Finally invention of Magnetrons

Several devices were developed – two significant devices among them are

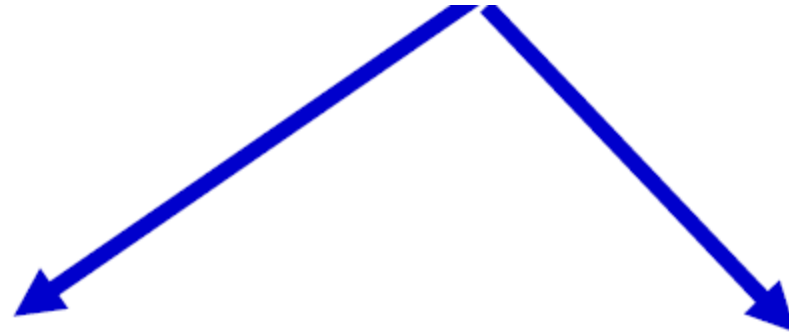
- 1) extended interaction klystron
- 2) Twystron hybrid amplifier

Microwave tubes can be divided into the three categories



Major categories of microwave tubes.

SIGNAL SOURCES THAT GENERATE POWER



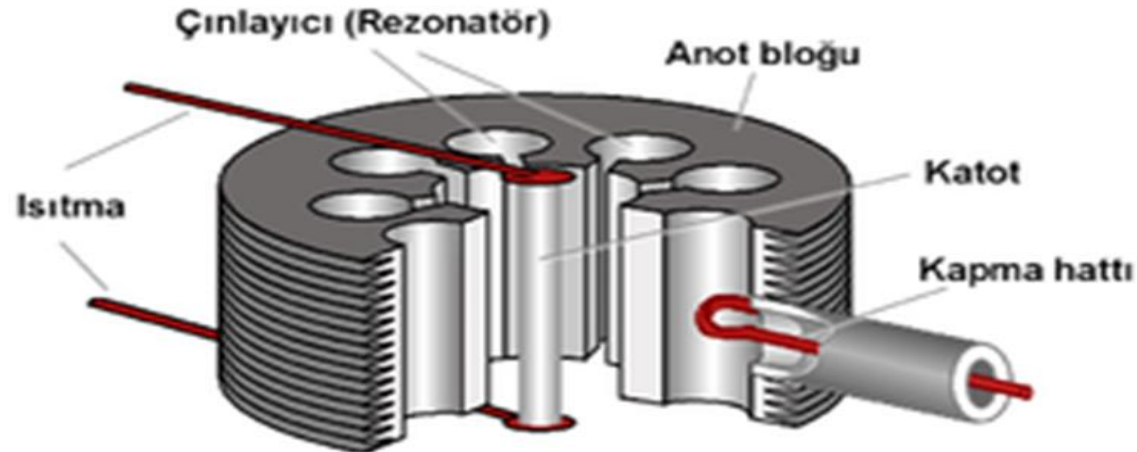
conventional vacuum
tubes
frequency < 1GHz
triodes, tetrodes,
pentodes

Microwave tubes
Frequency > 1GHz
klystron,
Traveling Wave
Tube, magnetron

Magnetron

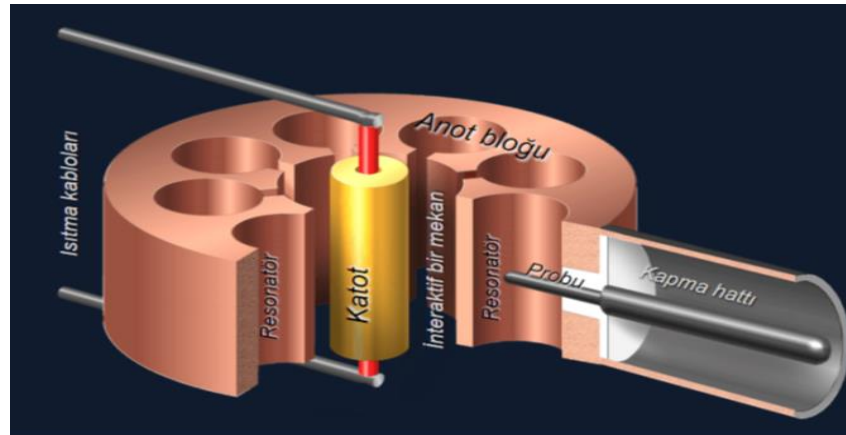
Magnetron

- Magnetron birçok radar cihazında kullanılan gönderme tüpüdür.
- Magnetron 1921 yılında Albert Wallace tarafından güçlü bir mikrodalga gönderici tüpü olarak geliştirildi.
- Fakat ilk kullanımı 1940 yılında gerçekleşti.
- Magnetron, kendiliğinden uyarımlı gibi osilatördür, diğer Yürüyen Dalga Tüpleri ya da klistron doğrusal ışınım yapan tüpler gibi çalışır.
- Magnetronda, radar cihazına yüksek gönderim gücünü üretmek için birbirine dik (çapraz biçimli) bir elektrik ve kuvvetli bir manyetik alan oluşur. Bu nedenle eski yayınlarda magnetron "çapraz alan üretici" veya "çapraz alan osilatörü" olarak adlandırılmıştır.



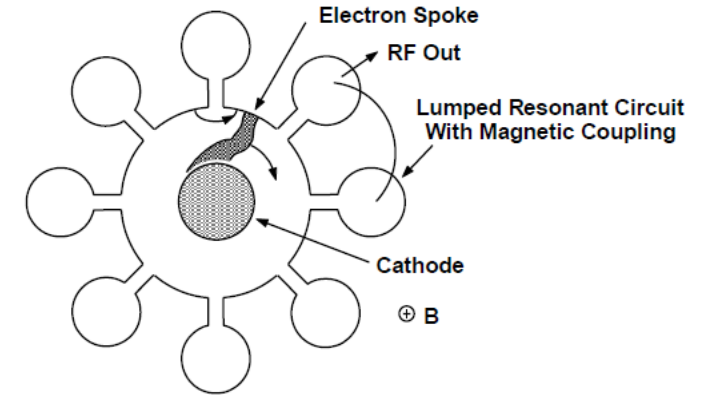
Magnetronun yapısı

- Magnetron, aslında bir diyottur.
- Magnetron bir anot olarak anahtarlanan büyük bir bakır bloktan meydana gelmiştir.
- Anot bloğunun orta deliğinde ısıtıcı flaman iletkenleri ile taşınan bir silindirik katot yer alır. Bu katot, yüksek salım (emisyon) yeteneği olan dolaylı olarak ısıtılan bir oksit katottur.
- Flaman iletkenlerini, flaman yapısını ve katodu istenen konumda tutabilecek kadar büyük ve sağlam olmalıdır. Anot bloğu çevresinde frekansı tayin edici 8 ila 20 adet kadar kovuk çınlayıcısı (cavity resonator) yer alır ve bunlar bir kapalı gecikme hattı gibi çalışır. Bu çınlayıcılarda anot ile katot arasında bağlantıyı sağlayan küçük bir oluk vardır.
- Anot ve katot arasında kalan bölge etkileşim bölgesi olarak adlandırılır. Burada elektrostatik ve manyetik alanlar elektronlar üzerinde kuvvet uygularlar. Katoda paralel olarak bir sabit mıknatısın kuvvetli manyetik alanı yer alır.



Magnetron

- Magnetronların ve çapraz alan amplifikatörlerinin temel konfigürasyonları şekilde gösterilmektedir.
- Bu cihazlarda katot, merkezdeki silindirik bir vericidir. Genel olarak, elektron akışı, aynı zamanda anot olarak işlev gören mikrodalga devresine doğru radyal olarak dışa doğrudur.
- Katot-anot elektrik alanına ve elektron akışının yönüne dik olan bir manyetik alan kullanıldığı için, elektronlar katotun etrafında dönen yollarda hareket etmeye zorlanır.

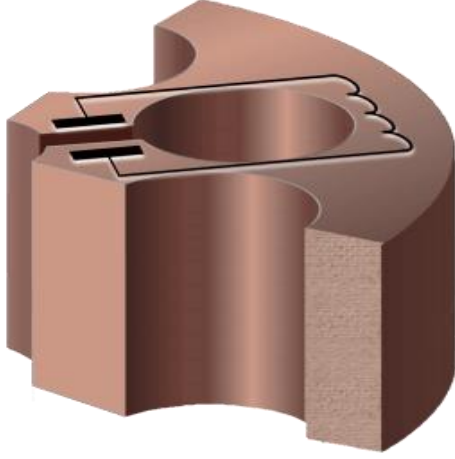


Basic configuration of a magnetron.

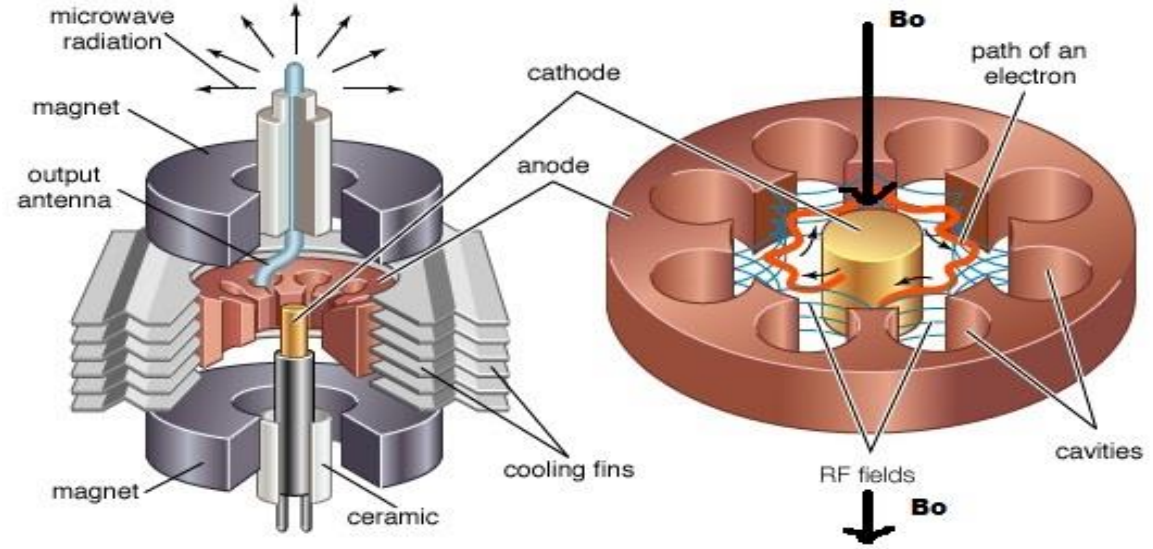
Magnetron

- Radar verici tüpü olarak kullanılan kendinden uyarımlı bir osilatör.
- Magnetronlar yüksek tepe gücü, küçük boyut, verimli çalışma ve düşük çalışma gerilimi ile karakterize edilir.
- Yayılan elektronlar, mikrodalga enerjisi üretmek için bir elektrik alanı ve güçlü bir manyetik alan ile etkileşime girer.
- Elektron hüzmelerini hızlandıran elektrik alanının yönü manyetik alanın eksenine dik olduğundan, magnetronlar bazen çapraz alan tüpleri olarak adlandırılır.
- Bir klystrondan farklı olarak, bir magnetron uyumlu bir iletim kaynağı değildir, ancak darbeden darbeye rastgele değişen bir faza sahiptir.
- Koaksiyel bir magnetron farklı bir mimari kullanır ve daha iyi kararlılık, daha yüksek güvenilirlik ve daha uzun ömürlüdür.
- Magnetronlar ucuz radarlarda ve mikrodalga fırınlarda kullanılır.

Anot bloğundaki bir Osilatör



Anot bloğundaki bir osilatör paralel bir salınım devresi gibi çalışır: Anot duvarlarında karşılıklı yarıklar kondansatördür, oluğun çevresindeki yol ise endüktanstır (sadece bir sargı).



Positive Z direction

B_0 = Applied Magnetic Field

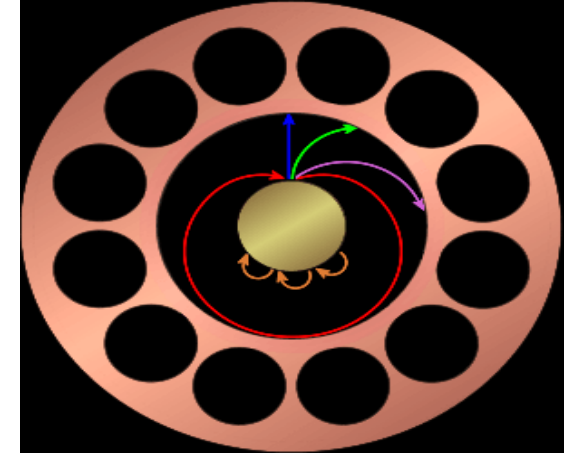
Magnetronun çalışma şekli

Tüm hız modülasyon tüplerinde olduğu gibi, bir magnetronda, yüksek frekanslı salınımların elde edilmesinde geçen elektronik olaylar yine dört evrede toplanabilir:

1. Evre: Elektron akımının elde edilmesi ve hızlandırılması
2. Evre: Elektronların hız modülasyonu
3. Evre: Elektron akımının yoğunluk modülasyonu
4. Evre: AC alana enerji aktarılması

Elektron akımının elde edilmesi ve hızlandırılması

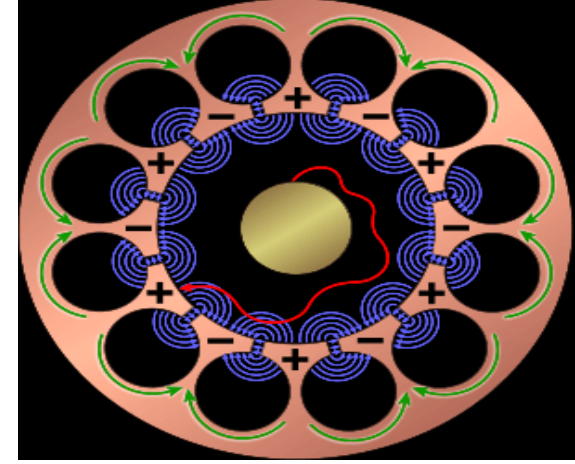
- Magnetronda, eğer hiç manyetik alan bulunmuyorsa katodun ısıtılması sonucunda elektronlar anoda doğru merkezden düzgün ve doğrudan varacak bir biçimde yayılarak hareket ederler. Resimde tek bir elektronun mavi renkli hatta bu hareketi gösterilmektedir.
- Daimi manyetik alan, elektronların yolunda bir bükme yaratır. Eğer elektronlar anoda varırsa, burada bir büyük anot akımı meydana gelir.
- Eğer manyetik alanının şiddeti arttırılırsa bu büküm daha keskinleşir. Benzeri şekilde elektronun hızı arttıkça etrafındaki alanda büyür ve sapma daha da keskinleşir. Bununla beraber kritik alan değerine varıldığında, elektronlar resimde kırmızı renkle gösterilen hattı takip ederler, elektronlar artık anottan uzaklaşmıştır ve anot akımı aniden çok küçük bir değere düşer. Alan kuvveti daha da arttırılırsa akım sıfırlanır.
- Anot ile katot arasında ki bölgeye (elektrik ve manyetik alanların birbirine dik yönde bulunduğu) eksensel yönde bir manyetik alan uygulanması durumunda elektronlar bir çember etrafında dönerken bir başka çember çizerek (epicycloidal) sapmaya uğrarlar.
- Anoda teğet olan kırmızı renkle gösterilen elektronların hattında ki akış yoğunluğu, kritik akış yoğunluğu olarak adlandırılır. İşletme pratiğinde, elektronların anoda ulaşamadığı, daha yüksek bir akış yoğunluğu olarak, yeşil renkle gösterilen kritik akış yoğunluğu olarak seçilir.
- **Magnetron kesmeye ayarlandığında, yani anot akımı sıfır olduğunda, elektronlar anoda ulaşamazlar ve mikrodalga frekanslarında oluşan bir salınım (osilasyona) girerler.**



Resim: Farklı manyetik akı değerlerine sahip manyetik alan ve elektrostatik alanların etkisi altında bir elektronun hareket yolu.

Elektronların hız modülasyonu

- Kovuk çınlayıcısı yarığında geçen elektronlar salınım girerler. Geciktirme hatları üzerinde bir dönen manyetik alan oluşur. Manyetik alan, çınlayıcıların iç bölümlerinde etkili olduğundan, sadece çınlayıcı yarığında yoğunlaşan elektrik alanı etkileşim hacminde etkin olur ve elektronların hareketlerini etkiler.
- Anot bölümlerinde, Resimde dönen dalganın yüksek frekanslı elektrik alanı ve buna ait yük dağılımı belli bir zaman noktasına kadar dikkate alınır. İlaveten yüksek frekanslı alan ve yükler sürekli mevcut elektrostatik alanı etkiler.
- Sonuçta; dönen dalgalar, anot bölümlerinin, anot DC gerilim değerlerinden bir miktar büyük (pozitif) yada bir miktar küçük (negatif) olan gerilim değerlerini değiştirir.
- Katottan, o anki pozitif yüklü bulunan anot bölümlerine yol alan elektronlar aynı zamanda hızlanırlar. Bu nedenle manyetik sağa sapma daha kuvvetlenir ve elektronlar daha yüksek değerlerde teğetsel hızlara çıkarlar.
- Diğer yandan, o anki negatif yüklü anot bölümlerine yol alan elektronlar yavaşlarlar. Bunlar sağa öyle çok sapma yapmazlar ve bunun sonucu olarak daha düşük teğetsel hızlarda hareket ederler.
- Bir magnetron osilatörde bulunan elektrik alanı AC ve DC bileşenlerden oluşur. DC alan merkezden yanındaki anot bölümlerine doğru yayılır. Anot bölümleri arasında ki kovuklarda oluşan radyo frekanslı salınımların bir çevriminde ki (alternasında ki) maksimum büyükleri gösterilmiştir. Bunlar sadece yüksek frekanslı AC elektrik alanıdır. Bu AC alan ayrıca DC alanı da etkiler. Her bir kovuğun AC alanı resimde gösterildiği gibi DC alanı azaltır ya a çoğaltır.



Resim: Dönen dalganın elektrik alan hatları

Elektron akımının yoğunluk modülasyonu

- Değişik elektron gruplarının farklı hızlara sahip olmaları nedeniyle, elektronlar dönüşleri sırasında çalışma zamanı etkileri ortaya çıkar.
- Daha hızlı elektronlar daha yavaş elektronları yakalar ve elektronların kümelenmeleri sonucu «jant telli bisiklet tekerinin dönmesi» sırasında meydana gelen bir görüntüye benzer bir çark görüntüsü ortaya çıkar. Bu görüntüye İngilizce de «Space-Charge-Wheel» denilmektedir. Bu çark AC alanın her bir çevrimi için 2 kutupluk açısal bir hızda dönmektedir. Bu faz ilişkisi elektron kümelerinin enerjilerini sürekli aktararak yüksek frekanslı salınımın sürmesini sağlar.
- Frenlenen elektronlar, enerjilerini yüksek frekanslı aktarır. Negatif yüklü anot bölümü yakınında ki bir çark kolunda ki bir miktar elektron artık yavaşlamıştır ve enerjisini AC alana aktarırlar.
- Hem dalgalar (ve sonucunda çınlayıcılarda ki alan dağılımı) hem de çark sürekli döndüğünden bu durum statik değildir; elektron hatlarının teğetsel hızlarının ve dalgaların dönme hızları birbiriyle bağdaştırılması gerekir.

AC alana enerji aktarılması

- Elektrik alanına karşı hareket eden bir elektron bu alan tarafından ivmelendirilir ve bu alandan enerji alır. Keza, bir elektronun alana aynı yöne (pozitif veya negatif) hareket ederken yavaşladığında enerjisini bu alana aktarır. Elektron kovuk önünden geçerken enerjisini bırakır ve enerjisi tükenince anoda varır. Yani elektronlar DC alandan enerji alıp bunu AC alana aktararak salınımın sürmesini sağlarlar.
- Karşılık gelen anot bölümüne varmadan önce, katot ve anot arasında ki çark kolu üzerindeki elektronlar çok daha fazla frenlerler. Bu frenleme onların enerjilerini yüksek frekanslı salınıma bırakmalarını sağlar.
- Elektronları çok sayıda frenlemeleri sayesinde enerjileri en optimal biçimde alınır ve % 80 e kadar olan verimliliğe ulaşılır.

Magnetron ve Mikrodalga fırın

- Magnetronun günümüzdeki en yaygın kullanılan mikrodalga fırınlardadır. Mikrodalga fırınlarda 2450 MHZ'lik bir EMD üreten birkaçyüz Watt'lık magnetronlar kullanılır.
- 1946 yılında radarla ilgili bir araştırma projesinde Dr. Percy Spencer da görevliymiş. Dr. Spencer magnetron denilen vakum tüpü üzerinde çalışırken cebindeki çikolataların eridiğini farketmiş ve şaşırılmış.
- Sonra bir deney yapmış. Mısır tanelerini magnetronun yanına koymuş ve görmüş ki mısırlar patlamış, her tarafa saçılmış. Sonra çiğ bir yumurtayı koymuş magnetronun yanına. Arkadaşları ile ne olacağını beklerken yumurtanın piştiğini ve patladığını görmüşler.
- Dr. Spencer kendi kendine sormuş: Yumurtayı bile pişiren bu mikrodalga enerji yemekleri de pişiremez mi? İşte mikrodalga fırınlar üstündeki ilk çalışmalar bu aşamadan sonra başlamıştır.

Mikrodalga fırın

- Mikrodalga fırınlarda 2,45 GHz'lik bir frekans kullanılır. Bu frekansın kullanılmasının önemli bir sebebi vardır. 2.45 Ghz, su moleküllerinin rezonans frekansıdır. Bunun sonucu olarak 2.45 Ghz'lik mikrodalga ışımaya en çok su tarafından emilecektir. Çoğu yiyecek de su içerdiğinden ısınacak, mikrodalga fırına uygun tabaklar ise su içermediğinden ısınmayacaktır.
- Bu rezonans sayesinde de su molekülleri ısınacak, maddenin kendisi de pişecektir. Az su içeren yemeklerin mikrodalga fırınlarda ısıtılması uygun değildir.
- Dalga boyu, $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2.45 \times 10^9} = 12.25 \text{ cm}$
- Mikrodalga, bu özel fırınların içindeki "magnetron" adı verilen vakum tüpünden üretilir. Magnetron, Doğru akımlı elektrik enerjisini "mikrodalgalar"a dönüştürür, mikrodalga fırın bu şekilde çalışır.
- Mikrodalga fırınlar normal fırınlara oranla çok daha az enerji harcamaktadırlar. Örneğin elektrikli bir fırın 1000-2000 Watt'lık elektrik gücü tüketirken, mikrodalga fırınlar yalnızca 300-500 Watt'lık bir güçle çalışırlar. Mikrodalga fırının az enerji harcamasının sebebi, kullanılan neredeyse tüm enerjinin ısıtılacak nesnede absorbe edilmesidir. Elektrikli fırında ise fırının içi ve yiyeceğin bulunduğu kap da gerekmediği halde ısıtıldığından gereksiz enerji harcanır.

Mikrodalga fırın

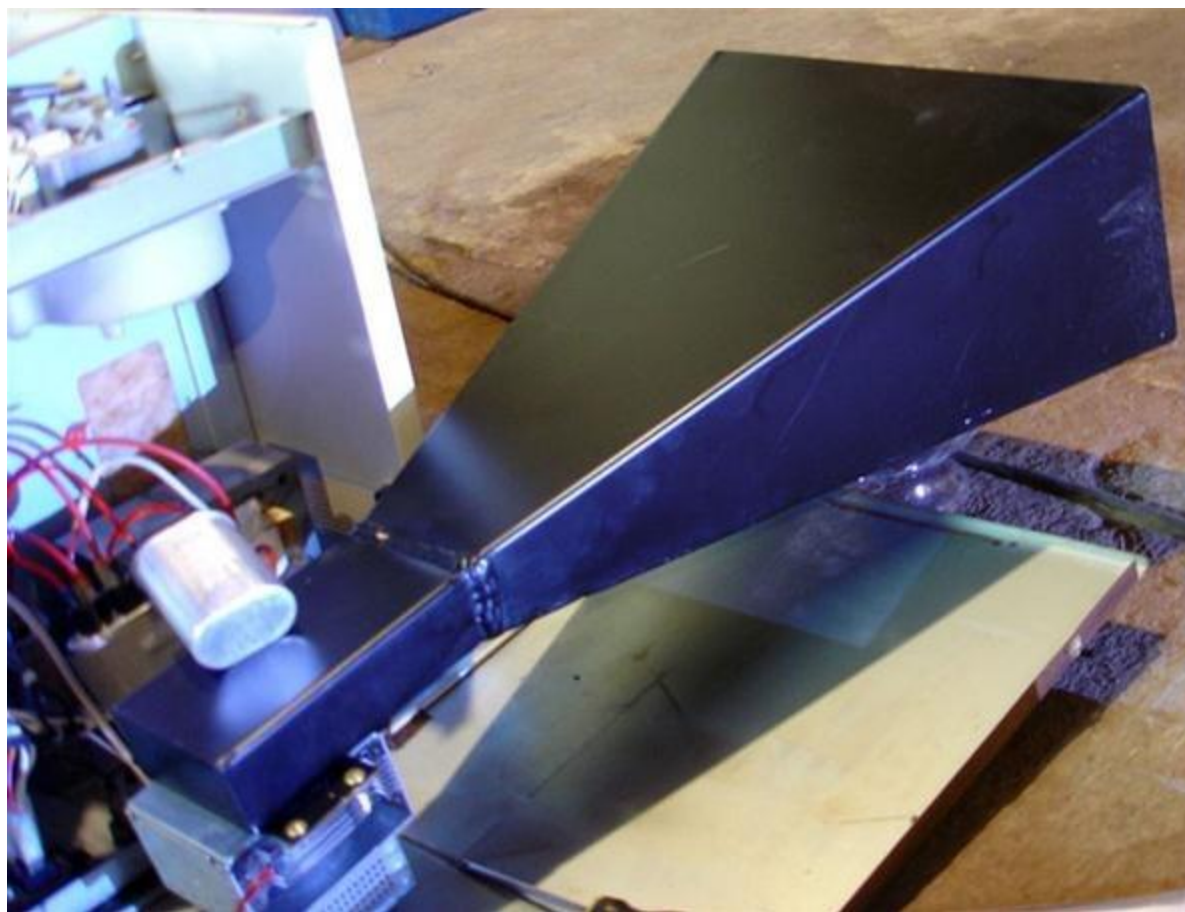
- Mikrodalga frekansları, başlıca su olmak üzere bazı maddeler tarafından emilirler, dalgalar, bu maddelerin moleküllerini atomik devinime uğratarak mikrodalga enerjiyi ısıya dönüştürürler. Bu nedenle içinde daha çok su molekülü taşıyan besinler daha hızlı pişer.

Mikrodalgaların özellikleri şöyle sıralanabilir;

- Su, şeker ve yağlar tarafından emilir,
- Emildiği ilk anda atomik ısıya dönüşür,
- Çoğu plastik, cam ve porselen tarafından emilmez,
- Metaller tarafından yansıtılırlar. Mikrodalga fırınlarına metal malzemeler koyulmamasının nedeni de bundan kaynaklanmaktadır.
- Mikrodalga ile pişirme, geleneksel pişirme yöntemlerinden hem daha hızlıdır hem de pişirme sürecinde yalnızca besin pişer, fırın ve ortam ısınmaz.[
- Mikrodalgalar, iyonize edici dalgalar değildir. Besin içinde ısıya dönüşür. Fırın kapandığında, fırında kaplarda ya da besin içinde bir radyasyon kalması vb. bir durum söz konusu değildir. Kalacak olan tek şey ısıdır.
- Metal eşyalar mikrodalga ışınları geçirmez, yansıtır. Dolayısı ile örneğin folyo ile sarılı ya da kapakla örtülmüş metal kapların içindeki yiyecekler ısınmaz. Ayrıca fırının içinde ısınacak yeterince malzeme yok iken metal eşya fırın çeperine yaklaşırsa arada kıvılcım atlaması yapıp fırına ve eşyaya zarar verebilir.

Mikrodalga fırın

- Et ve sebzeler eşit parçalar halinde koyulmalıdır, böylece hepsi aynı derecede ısınır.
- Kağıt tabaklar, porselen kupalar, peçeteler koyulabilir. Ancak folyo içeren kâğıt (süt kutusu), naylon ve sentetik içeren ürün, gazete kağıdı koyulmamalıdır.
- Yemeklerin tamamen ve eşit olarak ısıtılmasını sağlamak için sürekli ters çevrilmeli veya tabağın konumu değiştirilmelidir. Yemek, mümkün merteye küçük parçalar halinde konmalıdır.
- Etler büyük kemiklerinden temizlenip öyle koyulmalıdır, çünkü kemikler etin ısınmasını engeller.
- Eğer Turunçgillerden daha fazla su elde etmek isteniyorsa, meyve yarım dakika (30 saniye) boyu yüksek derecede mikrodalgada bekletilebilir.
- Sandviç, dürüm, kek gibi yemeklerin etrafına kâğıt havlular sarılmalıdır, aksi halde içindeki yemek nemlenir ve ıslak olur.
- Patates ve domates gibi kalın kabuklu yiyecekleri pişirirken içte oluşan buharın çıkması için kabuğa ufak çizikler çekilmelidir, yumurta kesinlikle kırılmış ve sarısı kesinlikle patlatılmış olmalıdır. Aksi halde patlayarak fırını kirletebilir ya da zarar verebilirler.
- Su ya da başka sıvılar ısıtılırken içerisine muhakkak metal bir kaşık koyulmalıdır. Aksi halde su aşırı ısınabilir. Aşırı ısınmış su fırından alınırken sarsıldığında patlamaya yakın bir şiddette kaynamaya başlayarak yanmanıza sebep olabilir.



Klystron

Klystron

- Bir güç amplifikatörü tüpü, (bir mikrodalga frekansı uyarıcısı tarafından sağlanan) zayıf mikrodalga enerjisini bir radar vericisi için yüksek bir güç seviyesine yükseltmek için kullanılır.
- Bir klystron yüksek güç, büyük boy, yüksek stabilite, yüksek kazanç ve yüksek çalışma gerilimleri ile karakterize edilir.
- Elektronlar, mikrodalga enerjisi üretmek için giriş dalga biçimi tarafından modüle edilen bir hüzme şeklinde oluşturulur.
- Bir klystron bazen lineer ışın tüpü olarak adlandırılır, çünkü elektron ışınını hızlandıran elektrik alanının yönü, magnetron gibi bir çapraz alan tüpünün aksine manyetik alanın eksenine paraleldir.
- Klystrons, Doppler radar ve darbe sıkıştırma uygulamaları için uygun bir uyumlu iletim sinyali sağlar.
- NEXRAD (Yeni Nesil Hava Radarı) ve TDWR (Terminal Doppler Hava Radarı) gibi birçok operasyonel radarda kullanılırlar.

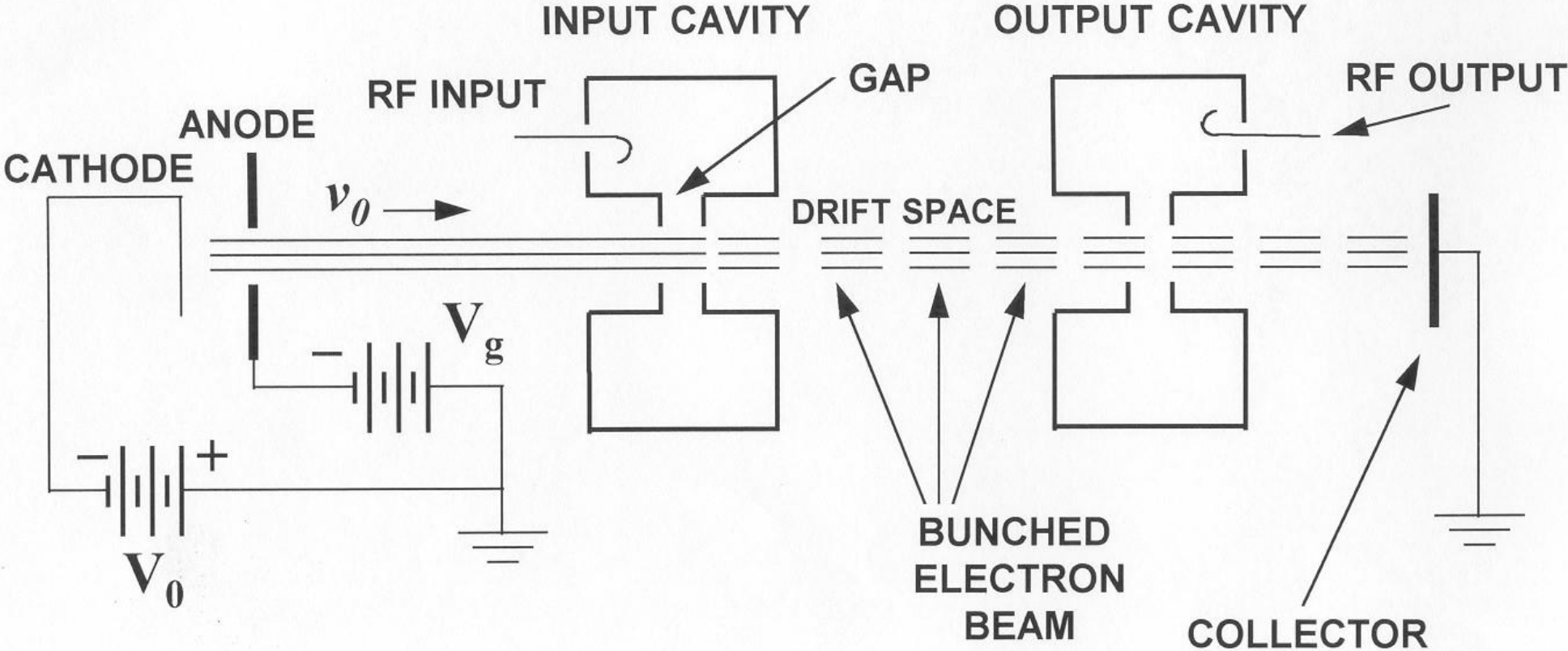
Klystron

Bir klystronda:

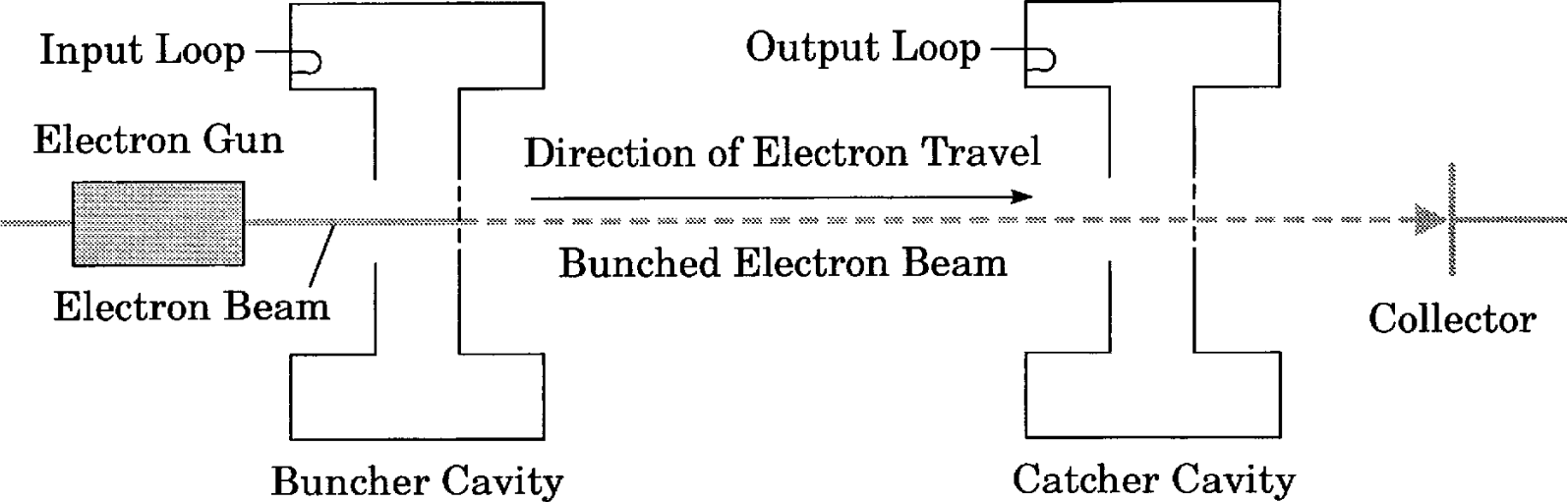
1. Elektron tabancası bir elektron akışı üretir.
2. Demetleme boşlukları, elektronların hızını çıkış boşluğundaki demetlere gelecek şekilde düzenler.
3. Elektron demetleri, klystronun çıkış boşluğunda mikrodalgaları uyarır.
4. Mikrodalgalar onları hızlandırıcıya ileten dalga kılavuzuna akar.
5. Elektronlar ışın durdurucuda emilir.



KLYSTRON STRUCTURE



Klystron Cross Section

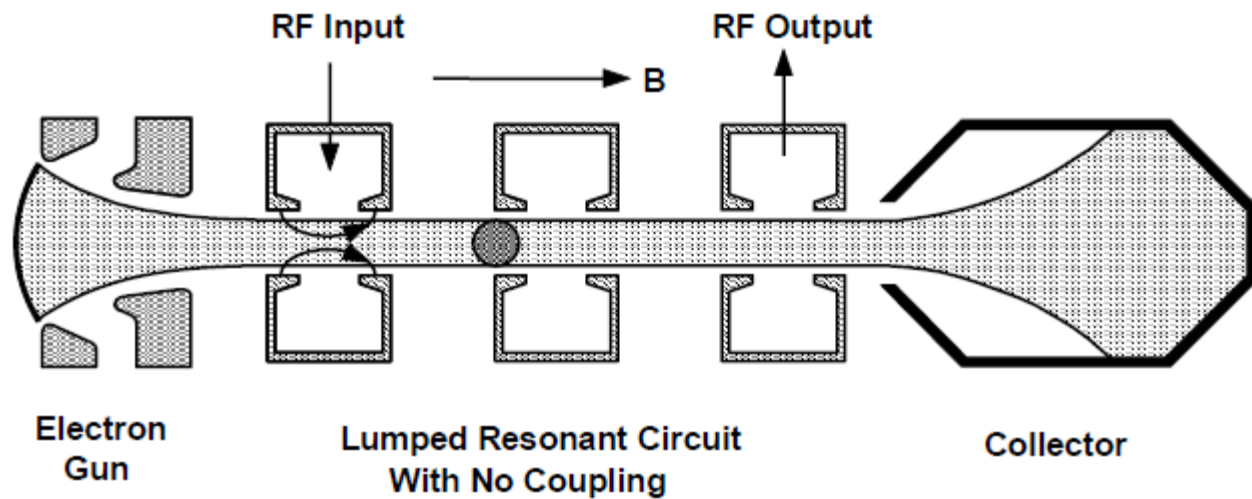


Klystron

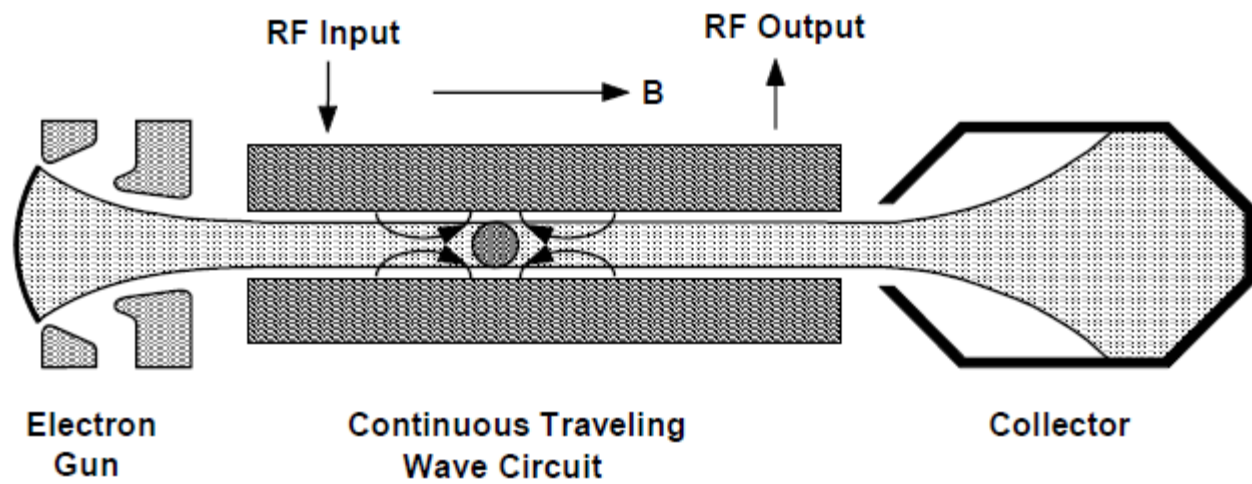
- Klystron ve hareketli dalga tüpleri, bir elektron tabancasında oluşturulduktan sonra, elektron ışını mikrodalga devresinden doğrusal olarak bir toplayıcıya gider.
- Klystronda, mikrodalga devresi rezonant boşluklardan oluşur. Boşluklar arasında elektromanyetik bağlantı yoktur.
- Mikrodalga devresi giriş sinyali ışındaki elektronları hızlandırır ve yavaşlatır. Işın sürüklendikçe, daha hızlı elektronlar daha yavaş elektronlarla yakalanır ve bu, ışın demeti ilerledikçe büyüyen elektron demetlerinin ve ışında büyüyen bir mikrodalga akımının oluşmasına neden olur.
- Bu akım önce ara boşluklara (sadece biri gösterilmiştir) ve daha sonra çıkış boşluğuna bağlanır. Her ara boşlukta, mikrodalga ışın akımı bir sinyal oluşturur, bu da ışında demetleme işlemini geliştiren bir alan üretir. Son olarak, yoğun Mikrodalga devrsi ışın akımının çıkış boşluğuna bağlanması, cihazın mikrodalga çıkış gücünü üretir.
- Bir klystronun kazancı çok büyük, 60 dB veya daha fazla olabilir, ancak bant genişliği genellikle yüzde birkaç ila yaklaşık% 10 ile sınırlıdır. Çıkış gücü seviyeleri onlarca megawatt veya daha fazla olabilir.

Örnek

- Bir klystron girişine 20KWatt'lık güç uygulanmaktadır. Klystron'da elektronlar hızlandırılarak ve yoğunlaştırılarak tekrar hızlandırılmasıyla elde edilen 60dB kazanç ile giriş sinyali kuvvetlendirilmektedir. Kuvvetlendirilen elektromanyetik sinyal 1ns süreyle aktarılmaktadır. Klystron çıkış gücünü watt cinsinden hesap ediniz.
- $P_{tw}=10KW=10000watt$
- $P_{tdBw}=10\log(10000)=10\log(10^4)= 40dBw$
- $P_{rdBW}=40dBw+60dB=100dBw$
- $P_{rW}=10^{10}watt=10^7KW=10^4MW=10GW$



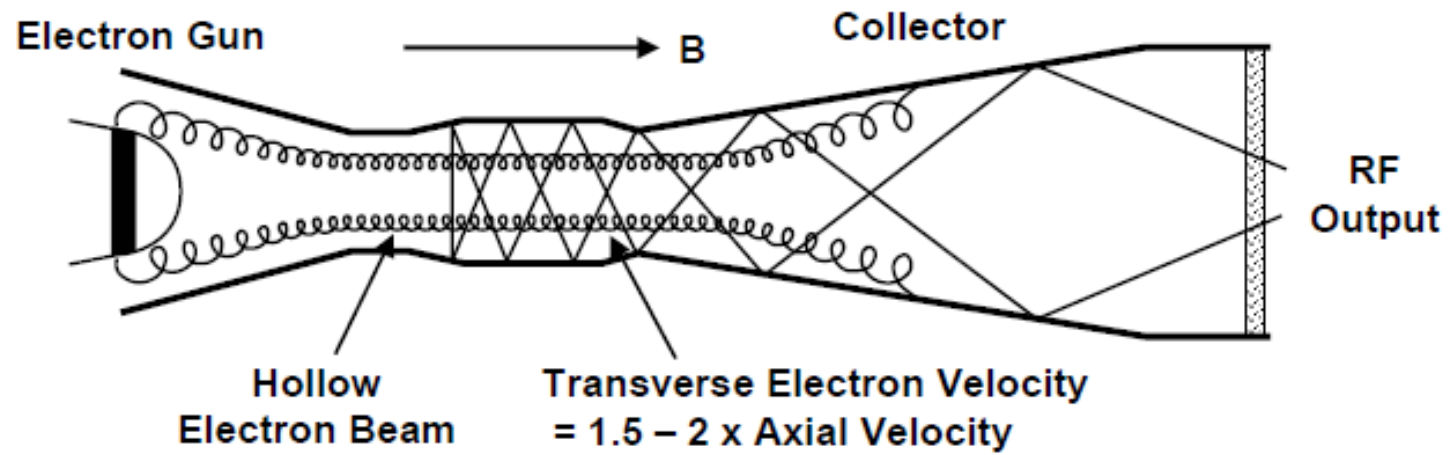
Basic configuration of a klystron.



Basic configuration of a traveling wave tube.

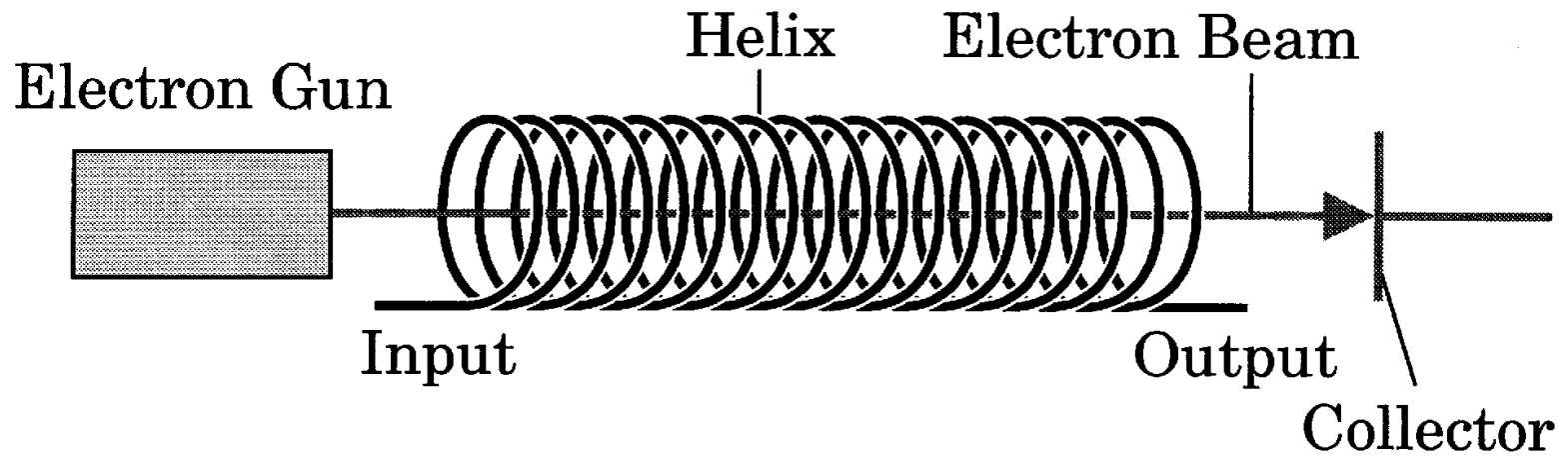
Hareket eden dalga tüpü (TWT)

- Hareket eden dalga tüpünde (TWT) mikrodalga devresi sürekli, böylece bir sinyal bir iletim hattında olduğu gibi devre boyunca hareket edebilir.
- Devre, sinyalin hızı, içinden geçen elektron ışınının hızı ile hemen hemen aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca devre, devre üzerindeki bir sinyalden elektrik alanlarının şekilde gösterildiği gibi kiriş gireceği şekilde tasarlanmıştır. Bu alanlar bazı elektronları hızlandırır ve diğerlerini yavaşlatır, böylece elektron demetleri oluşur.
- Bu elektron demetleri yakındaki devreden geçerken, devrede bir mikrodalga devre akım akışı indükler ve bu da devre üzerindeki mikrodalga alanının genliğinin artmasına neden olur. Artan alan da kirişteki demetleme hareketini arttırır.
- Sonuç olarak, kirişteki demetlerin ve devre üzerindeki alanın hareketi boyunca (aynı hızda), kirişteki demetleme hareketi artar. Demetleme daha yoğun hale geldikçe, ışındaki ve devre üzerindeki alandaki mikrodalga akımı büyür. Sonunda, amplifiye edilmiş sinyal devreden birleştirilir.
- Bir TWT'nin elde edilen kazancı genellikle 30-50-dB aralığındadır ve bant genişliği% 20 ila arasında olabilir. ıkış gücü seviyeleri, son derece geniş bantlı cihazlar için onlarca watt'tan yüzlerce kilowatt'a ve dar bantlı cihazlar için megawatt'a kadar değişmektedir.



Basic configuration of a gyrotron oscillator.

Traveling-Wave Tube



Microwave Circuit Design

Microwave Design

- Noise
- Power
- Operating Frequency
- Gain
- Supply Voltage
- Linearity

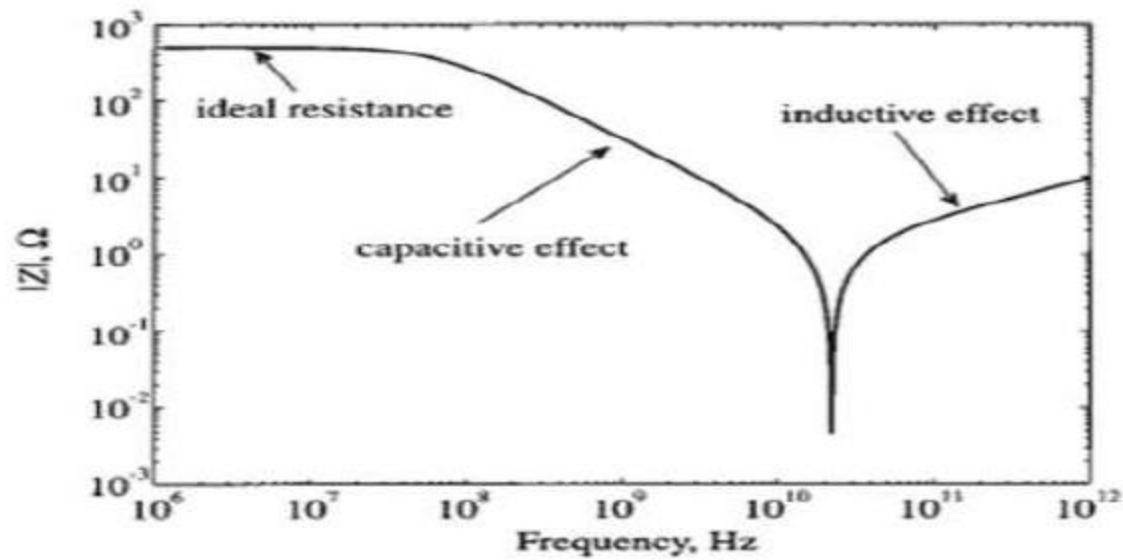
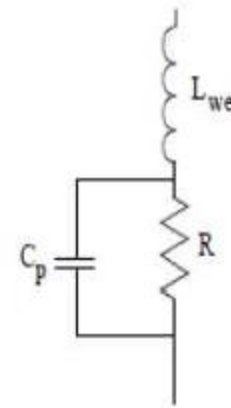
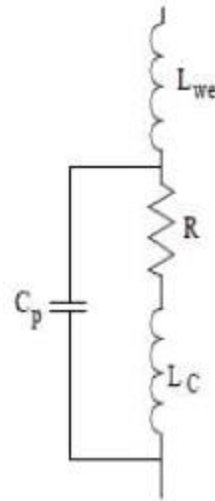
Microwave Circuits

- – S-parameters
- – Power Dividers
- – Couplers
- – Filters
- – Amplifiers
- Transmission lines
- Passive components: resistors, capacitors, and inductors
- Active devices: diodes and transistors.
- Power Dividers
- Couplers
- Filters

$$Z(j\omega) = j\omega L_{we} + (R // \frac{1}{j\omega C_p})$$

$$f_{RC} = \frac{1}{2\pi RC_p}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{we} C_p}}$$



Inductor

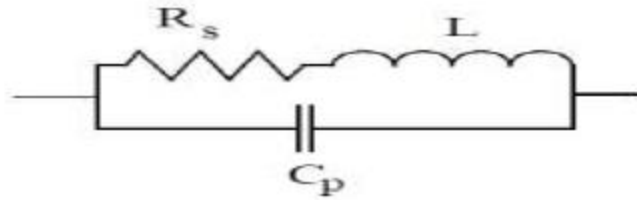
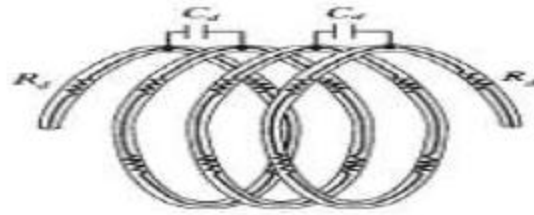
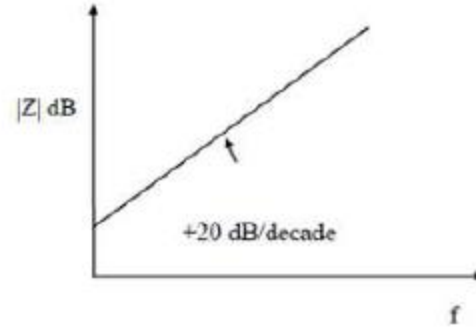
L

Ideal



$$Z_L = j\omega L = \omega L \angle +90^\circ$$

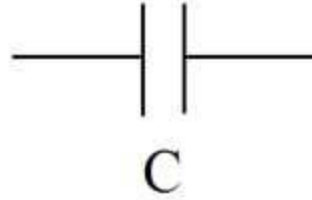
$$|Z_L| = 2\pi L \cdot f$$



$$Z(j\omega) = (R_s + j\omega L) \parallel \frac{1}{j\omega C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

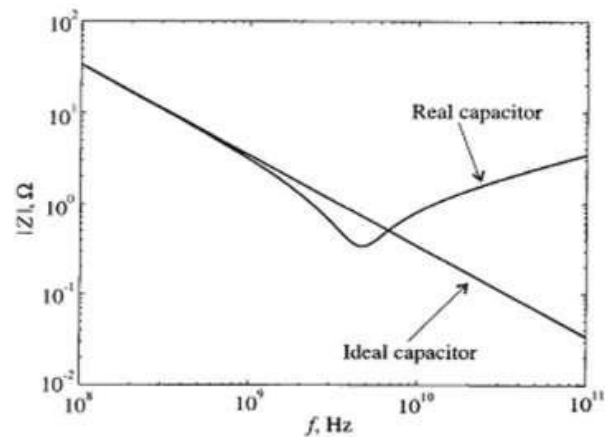
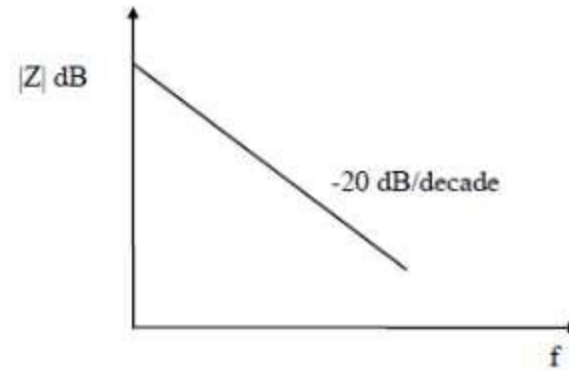
Capacitors



Ideal

$$Z(j\omega) = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} \angle -90^\circ$$

$$|Z| = \frac{1}{2\pi C} \cdot \frac{1}{f}$$



$$Z(j\omega) = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Semiconductor microwaves devices

- Microwave transistors, tunnel diodes and FETs: transferred electron devices
- Gunn effect diodes - (Gunn effect, operation, modes of operation, microwave generation and amplification)
- LSA diodes - InP diodes - Cd Te diodes - avalanche
- transit time devices - read diodes - impatt diodes - trapatt diodes – baritt diodes

MICROWAVE TRANSISTOR

- The microwave transistor is a nonlinear device, and its principle of operation is similar to that of the low-frequency device.
- Major concerns for a microwave transistor:
 - transit time
 - parasitic capacitance, and resistance



MICROWAVE TRANSISTOR

- Bipolar transistor

 - Bipolar junction transistor (BJT)

 - Heterojunction bipolar transistor (HBT)

- Unipolar transistor

 - Metal oxide field effect transistor (MOSFET)

 - Metal semiconductor field effect transistor (MESFET)

 - High electron mobility transistor (HEMT)

Diode

- The tunnel diode: a negative resistance device
- Gunn diode
- Impatt diode
- Trapatt diode
- Baritt diode: Barrier-Injection Transit-Time Diode
- Double-Velocity Transit-Time diode (DOVETT)
- Tunnel-Injection Transit-Time Diode (TUNNETT)
- Quantum-Well-Injection Transit-Time Diode (QWITT)

Kaynaklar

- <https://www.ece.ucsb.edu/~long/ece145a/ampdesign.pdf>
- Amplifiers, Prof. Tzong-Lin Wu. EMC Laboratory. Department of Electrical Engineering. National Taiwan University

Usage Notes

- These slides were gathered from the presentations published on the internet. I would like to thank who prepared slides and documents.
- Also, these slides are made publicly available on the web for anyone to use
- If you choose to use them, I ask that you alert me of any mistakes which were made and allow me the option of incorporating such changes (with an acknowledgment) in my set of slides.

Sincerely,

Dr. Cahit Karakuş

cahitkarakus@gmail.com